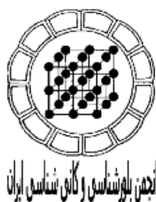
مجله بلورشناسی و کانی شناسی ایران

سال بیست و هفتم، شمارهٔ دوم، تابستان ۹۸، از صفحهٔ ۴۶۷ تا ۴۷۴



ساخت نانوذرات فریت منگنز کادمیم به روش سل-ژل و بررسی ویژگی‌های مغناطیسی آنها

محمد نیایی فر*[۲]، محبوبه حیدری[۱و۲]

۱-گروه فیزیک، واحد علوم و تحقیقات خوزستان، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران

۲-گروه فیزیک، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران

(دریافت مقاله: ۹۷/۲/۱۵، نسخه نهایی: ۹۷/۸/۱۲)

چکیده: در این پژوهش، نانوذرات فریت منگنز جانشانی شده با کادمیم با فرمول شیمیایی $Mn_{1-x}Cd_xFe_2O_4$ و مقادیر جانشانی (۰٫۵، ۰٫۳، ۰٫۱، ۰) =x به روش سل‌ژل تهیه شدند. تحلیل الگوهای پراش پرتو ایکس (XRD) ساختار تک فاز فریت را در همه‌ی نمونه‌ها تأیید کرد. میانگین اندازه بلورک‌ها از ۱۷ تا ۲۲ نانومتر برآورد شد. با استفاده از طیف سنجی‌های تبدیل فوریه فروسرخ (FT-IR) وفروسرخ دور (Far-FTIR) پیوندهای شیمیایی و فاز تشکیل فریت نمونه‌ها بررسی گردید. ویژگی‌های مغناطیسی نانوذرات تهیه شده توسط مغناطش سنج نمونه ارتعاشی (VSM) بررسی شد و نتایج نشان داد که در اثر جانشانی یون‌های Cd^{2+} در فریت منگنز، مغناطش اشباع به صورت غیرخطی تغییر می‌کند این تغییرات به توزیع کاتیون‌ها در جایگاه‌های چاروجهی و هشت‌وجهی و هم‌چنین کاهش برهم‌کنش ابرتبادلی نسبت داده می‌شود.

واژه‌های کلیدی: *نانوذرات؛ فریت منگنز-کادمیم؛ ویژگی‌های مغناطیسی؛ ساختار اسپینل.*

مقدمه

ذرات با اندازه نانو ویژگی‌های شیمیایی و فیزیکی منحصر به فردی از خودشان نشان می‌دهند. طی چند سال گذشته، نانوذرات فریت توجه بسیاری را به خود جلب کرده‌اند [۱]. فریت‌ها به سبب ویژگی‌های مکانیکی، مغناطیسی، الکتریکی و نوری برجسته‌ای که دارند گستره‌ی وسیعی از کاربردها را در صنعت در بر می‌گیرند [۲]. فریت منگنز به گروهی از مواد فریت نرم تعلق دارد که بوسیله‌ی نفوذپذیری بالا و اتلاف انرژی کم شناخته می‌شوند و ویژگی‌های ساختاری و مغناطیسی این دسته از فریت‌ها به اندازه ذره، دمای پخت، روش تهیه و غلظت مواد جانشانی شده بستگی دارد [۳]. این مواد مؤلفه‌های مهم در ساخت ابزارهای الکترونیکی با بسامدهای بالا، تراوایی اولیه و مقاومت ویژه بالا هستند [۵،۴]، بنابراین برای گسترش فرآیندهای ساخت و بهتر کردن کیفیت مؤلفه‌های به کار رفته در ساخت این ابزار، بررسی مغناطیسی در کانون کارهای پژوهشی قرار گرفته است [۶]. فریت منگنز دارای کاربردهای بسیاری مانند ابزارهای کهموجی، تراشه‌های حافظه رایانه، وسایل ضبط مغناطیسی، حلقه بسامد رادیویی، مبدل هسته‌ها، آنتن‌های میله‌ای، رشته‌های ارتباطات و مهندسی الکترونیک است [۷-۱۰]. روشن شده است که در فریت منگنز احتمالاً ۸۰٪ منگنز جایگاه‌های چاروجهی A و ۲۰٪ آنها جایگاه‌های هشت‌وجهی B را اشغال می‌کنند [۱۱] و فریتی با ساختار اسپینل معکوس جزئی را ایجاد می‌کند، در حالیکه فریت کادمیم در دمای اتاق اسپینل عادی است، یعنی یون‌های Cd^{2+} تمایل شدیدی به اشغال جایگاهای چاروجهی دارند [۱۳،۱۲]. جانشانی کاتیون‌های مغناطیسی و غیرمغناطیسی در موادفریتی باعث تغییر مغناطش و مشخصه‌های الکتریکی آنها می‌شود [۱۵،۱۴]. این تغییرات در ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی که با جانشانی یون در فریت‌های اسپینلی رخ می‌دهد، از تنوع این ترکیب‌ها در توزیع کاتیون‌ها بین

*نویسنده مسئول، تلفن: ۷-۳۴۴۵۷۱۷۴ (۰۶۱)، نمابر: ۳۴۴۳۵۲۸۸(۰۶۱)، پست الکترونیکی: md.niyaifar@gmail.com

[DOI: 10.29252/ijcm.27.2.467]

جایگاه‌های چاروجهی و هشت‌وجهی ناشی می‌شود [۱۶]. پژوهشگران با جانشانی کادمیم در ساختار منگنز به روش همرسوبی مشاهده کردند که با افزایش ناخالصی کادمیم، مغناطش اشباع کاهش می‌یابد و همچنین بر اساس طیف سنجی فروسرخ، دو نوار جذب زیر $1000 cm^{-1}$ بررسی شدند [۱۷]. در پژوهشی مشابه، نیز نمونه‌های فریت منگنز کادمیم را به روش سرامیکی تهیه و بررسی کردند که دیده شد که ثابت شبکه با افزایش مقدار ناخالصی کادمیم افزایش می‌یابد و رسانندگی الکتریکی نمونه‌های تهیه شده نیز بررسی گردید [۱۸]. جانشانی کادمیم در فریت منگنز تهیه شده به روش گرمابی نیز بررسی شد و نتایج نشان داد که با افزایش مقدار کادمیم، اندازه میانگین بلورک‌ها، ثابت شبکه و مغناطش اشباع افزایش می‌یابد [۱۹]. در راستای نوآوری کارهای انجام شده بر فریت منگنز کادمیم، در این پژوهش، برای تهیه نانوفریت‌ها از روش سل‌ژل به دلیل خلوص بالاتر فراورده، همگنی بیشتر آن و دمای کلسینه کمتر [۲۰] استفاده شد و دو نوار جذب زیر cm^{-1} ۱۰۰۰ ازطریق Far-FTIR بررسی شدند.

روش ساخت

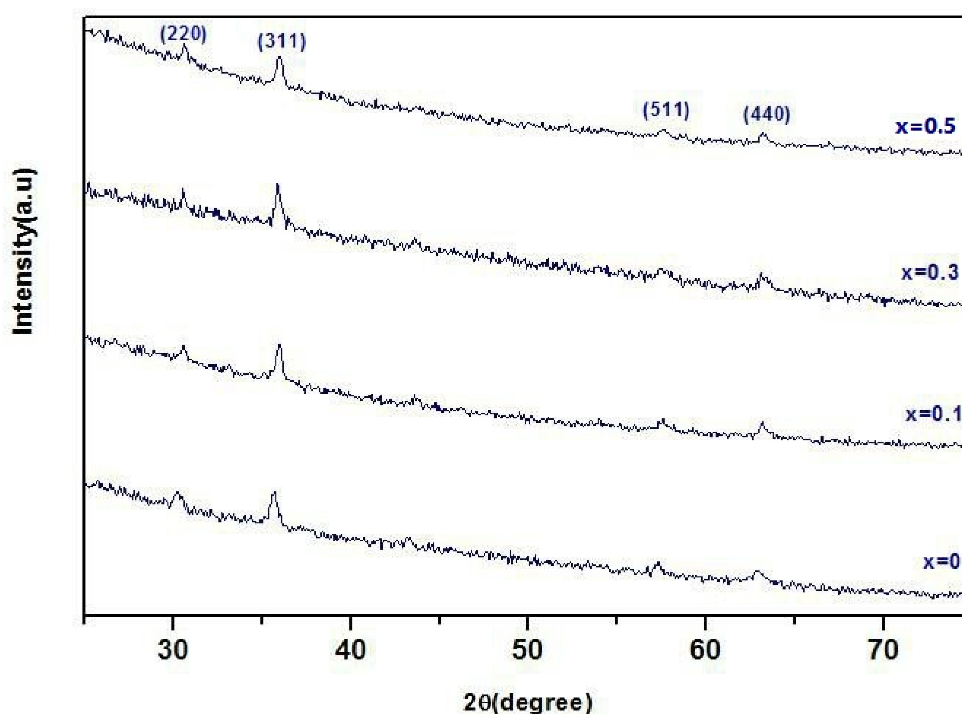
نانوذرات فریت منگنز جانشانی شده با کادمیم با ترکیب $Mn_{1-x}Cd_xFe_2O_4$ و مقادیر جانشانی (۰٫۵، ۰٫۳، ۰٫۱، ۰ =x) به روش سل‌ژل تهیه شدند. مواد اولیه شامل نیترات‌آهن $Fe(NO_3)_3.9H_2O$، نیترات‌منگنز $Mn(NO_3)_2.xH_2O$ و نیترات‌کادمیم $Cd(NO_3)_2.4H_2O$ براساس روابط عنصرسنجی، به دقت وزن و در ۱۰۰ میلی‌لیتر آب یون‌زدایی شده حل شدند. سپس محلول اسیدسیتریک $C_3H_8O_7.H_2O$ به این محلول اضافه شد و نسبت سیترات به نیترات در محلول برابر با ۱:۱ تنظیم شد. همه‌ی مواد از شرکت آلدریچ با کمینه خلوص ۹۹٫۹ درصد خریداری شده بودند. محلول به دست آمده با همزن مغناطیسی به مدت ۲ ساعت در دمای اتاق هم زده شد، سپس برای دستیابی به pH=۶ ، آمونیاک به آن اضافه شد. سل آماده شده در دمای $70\,^{o}C$ گرمادهی شد تا به ژل غلیظ تبدیل شود. سپس ژل بدست آمده به مدت ۲ ساعت در دمای $200\,^{o}C$ در اجاق گرما داده شد تا کامل خشک شود پودر به دست آمده پس از ساییده شدن، در کوره با آهنگ $5\frac{^{\circ}C}{min}$ به مدت ۱ ساعت و در دمای $300\,^{o}C$ گرمادهی شد. الگوهای پراش پرتو ایکس (XRD) نمونه‌ها با استفاده از پراش‌سنج مدل Seifert3003 تهیه شدند. منحنی‌های پسماند مغناطیسی نمونه‌ها به وسیله‌ی یک مغناطیس‌سنج نمونه ارتعاشی (VSM) ساخت شرکت Lake Shore مدل۷۴۰۰ بررسی شدند. پیوندهای شیمیایی نانوذرات در گستره‌ی عددهای موج cm^{-1} ۴۰۰-۴۰۰۰ در دمای اتاق به وسیله‌ی دستگاه FT-IR (Perkin Elmer BXII مدل ۱۸۵۲۵۶) و پیوندهای موجود در گستره‌ی عددموج $700-150 cm^{-1}$ با استفاده از دستگاه Far-FTIR (Perkin Elmer مدل Spectrum400) اندازه-گیری شد.

بحث و بررسی

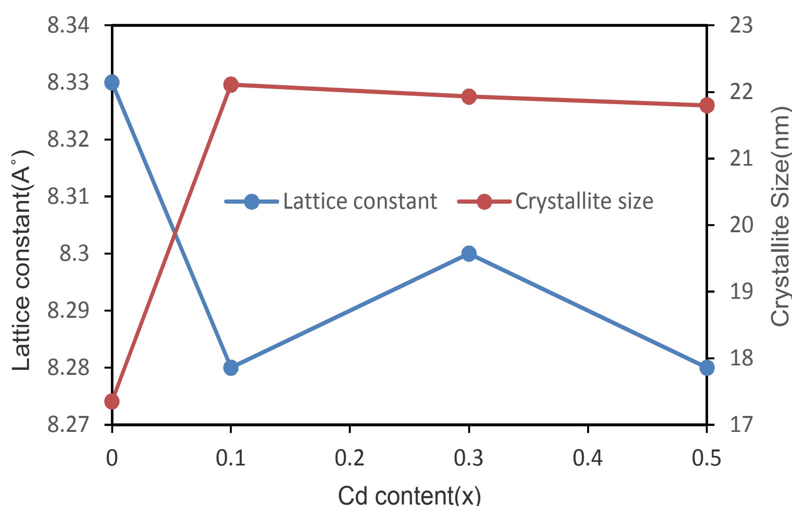
بررسی ساختاری

الگوهای پراش پرتو ایکس نانوذرات فریت منگنز جانشانی شده با کادمیم $Mn_{1-x}Cd_xFe_2O_4$ با مقادیر جانشانی (۰٫۵، ۰٫۳، ۰٫۱، ۰ =x) در شکل ۱ آورده شده اند. همه‌ی الگوهای پراش با کارت استاندارد JPCDS ۰۰۰-۱۰-۰۳۱۹ همخوانی دارند که تشکیل ساختار تک فاز فریت برای همه‌ی نمونه‌ها را تأیید می-کند. میانگین اندازه بلورک‌ها با استفاده از رابطه شرر $D=\frac{\kappa\lambda}{\beta cos\theta}$ محاسبه شد. در این رابطه D میانگین اندازه بلورک‌ها، λ طول موج پرتو ایکس (برابر با ۰٫۱۵۴۰۶نانومتر)، θ زاویه براگ، κ ثابتی است که به ریخت‌شناسی بلورک‌ها وابسته است (از ۰٫۸۹ تا ۱٫۳۹ متغیر است) که در اینجا ۰٫۹ قرار داده شد و β پهنای قله در نیم شدت بیشینه (بر حسب رادیان) است[۲۱،۲۲]. با افزایش مقدار کادمیم، میانگین اندازه بلورک‌ها از ۱۷ تا ۲۲ نانومتر افزایش یافته است .تغییرات ثابت شبکه و اندازه نانوذرات که در شکل ۲ نشان داده شده است را می‌توان بر اساس توزیع کاتیونی میان جایگاه‌های چاروجهی و هشت-وجهی توضیح داد[۲۳] با افزایش مقدار کادمیم از x = ۰ تا x = ۰٫۱ یون‌های Cd^{2+} وارد جایگاه‌های چاروجهی شده و باعث مهاجرت یون‌های Fe^{3+} به جایگاه‌های هشت‌وجهی می‌شوند که این امر باعث کاهش ثابت شبکه می‌شود. از x =۰٫۱ تا x = ۰٫۳ یون‌های Cd^{2+} به طور کامل جایگاه‌های چاروجهی را اشغال می‌کنند و از آنجاکه شعاع یونی کادمیم (۰٫۸۳°A) بزرگتر از شعاع یونی منگنز (۰٫۶۶°A) است، جانشانی یون‌های Cd^{2+} به جای یون‌های Mn^{2+} منجر به انبساط شبکه و افزایش ثابت شبکه می‌شود. نتیجه‌ی مشابهی توسط ناصر و همکاران نیز گزارش شده است [۱۹]. وقتی مقدار کادمیم به x=۰٫۵ - افزایش می‌یابد مقداری از یون‌های Cd^{2+} وارد جایگاه‌های هشت‌وجهی می‌شوند و انقباض شدیدی در این جایگاه ایجاد می‌کنند که باعث کاهش ثابت شبکه می‌شود که با گزارش راجش و همکاران همخوانی دارد [۱۷].

[DOI: 10.29252/ijcm.27.2.467]



شکل ۱ الگوهای پراش پرتو ایکس نمونه‌های $Mn_{1-x}Cd_xFe_2O_4$ با مقدار جانشانی (۰٫۵، ۰٫۳، ۰٫۱، ۰) = x



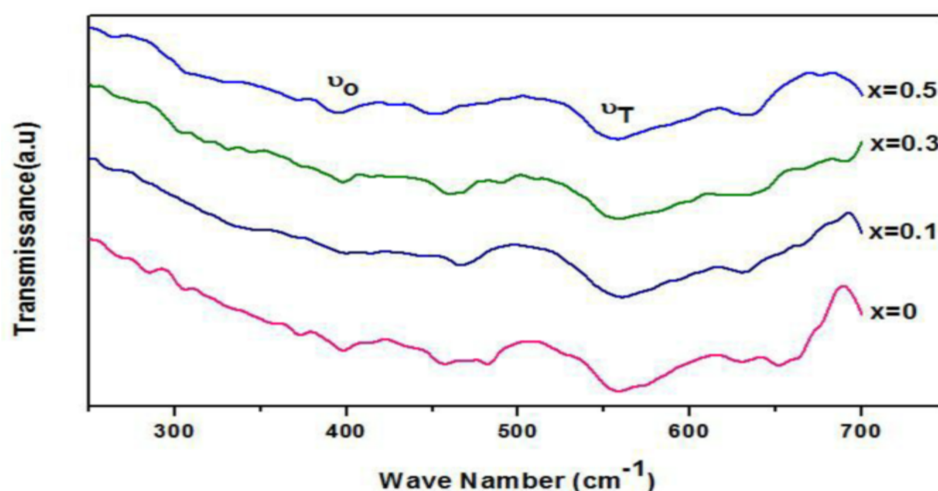
شکل ۲ تغییرات اندازه نانوذرات و ثابت شبکه نمونه‌های $Mn_{1-x}Cd_xFe_2O_4$ با مقدار جانشانی (۰٫۵، ۰٫۳، ۰٫۱، ۰) = x

به منظور بررسی ارتعاش‌های یون اکسیژن با کاتیون‌های موجود، بیناب‌های تبدیل فوریه فروسرخ دور نمونه‌های $Mn_{1-x}Cd_xFe_2O_4$ با (۰٫۵، ۰٫۳، ۰٫۱، ۰) = x ثبت که در شکل ۳ نشان داده شده‌اند. دو نوار جذبی قوی در $_{T}\nu$ Cm^{-1} ۵۶۰٫۷۳-۵۶۶٫۶۷ و در ν_{O} ۳۹۳٫۰۲-۳۹۵٫۷۶ وجود دارد که به ارتعاشات شبکه بلور نسبت داده می‌شوند و مشخصه‌ی همه‌ی فریت‌ها هستند [۲۴]، نتایج بدست آمده مشابه کارراجش و همکاران است [۱۷]. نوار جذبی ν_T را می‌توان به مد ارتعاشی کششی کاتیون‌های فلزی و اکسیژن در جایگاه‌های چاروجهی و نوار جذبی ν_O را می‌توان به مد ارتعاشی کششی کاتیون‌های فلزی و اکسیژن در جایگاه‌های هشت‌وجهی نسبت داد [۲۵]. چنان که دیده می‌شود هر دو نوار با افزایش مقدار کادمیم به

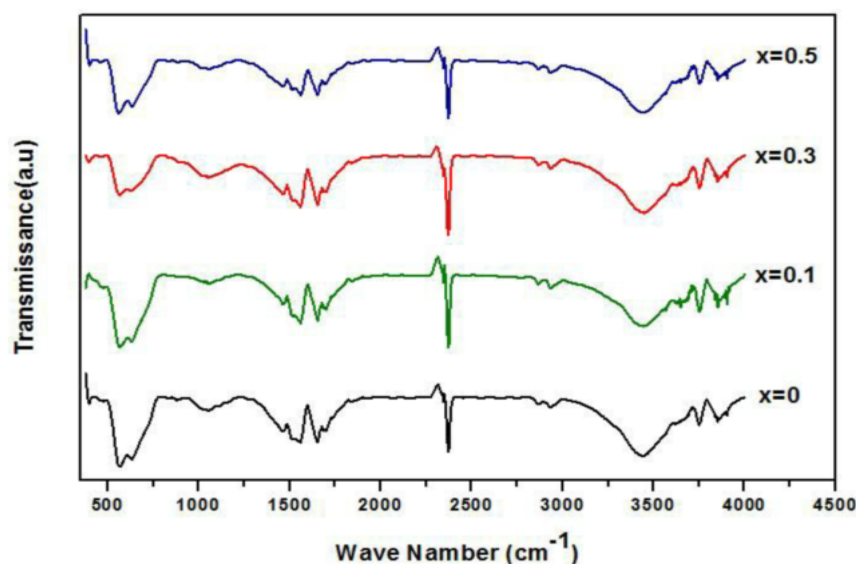
[DOI: 10.29252/ijcm.27.2.467]

عدد موج‌های کمتر جابجا می‌شوند و این تغییرات را می‌توان به افزایش طول پیوند کاتیون- اکسیژن در هر دو جایگاه نسبت داد. جابجایی موقعیت نوار ν_T را بدین صورت می‌توان توضیح داد که با قرار گرفتن یون‌های Cd^{2+} در جایگاه چاروجهی، تعدادی از یون‌های Fe^{3+} از جایگاه چاروجهی به جایگاه هشت-وجهی مهاجرت می‌کنند که باعث افزایش طول پیوند اکسیژن-فلز در جایگاه چاروجهی در ساختار اسپینلی می‌شود[۲۶]. با افزایش مقدار کادمیم دیده می‌شود که طول نوار جایگاه چاروجهی نسبت به جایگاه هشت‌وجهی کوتاه‌تر است. این امر را بنابر نتایج لووین می‌توان ناشی از پیوندهای کووالانسی بیشتر یون‌های Fe^{3+} در جایگاه چاروجهی نسبت به جایگاه هشت وجهی دانست[۲۷].

شکل ۴ بیناب‌های تبدیل فوریه فروسرخ میانه نمونه‌ها را نشان می‌دهد. چنان که دیده می‌شود، عددموج های گستره ی cm^{-1} ۱۲۰۰ -۱۰۰۰ مربوط به پیوندهای آلی C-N هستند. از cm^{-1} ۱۷۵۰ -۱۶۰۰ دو نوار جذبی نزدیک به هم دیده می شود که مربوط به ارتعاش های کششی گروه فعال کربوکسیل C=O و آب هستند. ارتعاشات جذبی در نزدیکی cm^{-1} ۲۴۰۰ و cm^{-1} ۲۸۰۰ به ترتیب نشان‌دهنده‌ی باقی ماندن ترکیبات از نظر سطحی-فعال آمینه $(-NH_2)$ و $-CH_2-$ در ترکیب است[۲۴]. نوارهای جذبی در حدود cm^{-1} ۳۴۰۰ و cm^{-1} ۳۶۰۰ مربوط به پیوندهای هیدروژنی OH هستند [۲۸].



شکل ۳ طیف‌های تبدیل فوریه فروسرخ دور نمونه‌های $Mn_{1-x}Cd_xFe_2O_4$ با مقدار جانشانی (۰/۵، ۰/۳، ۰/۱، ۰) = x

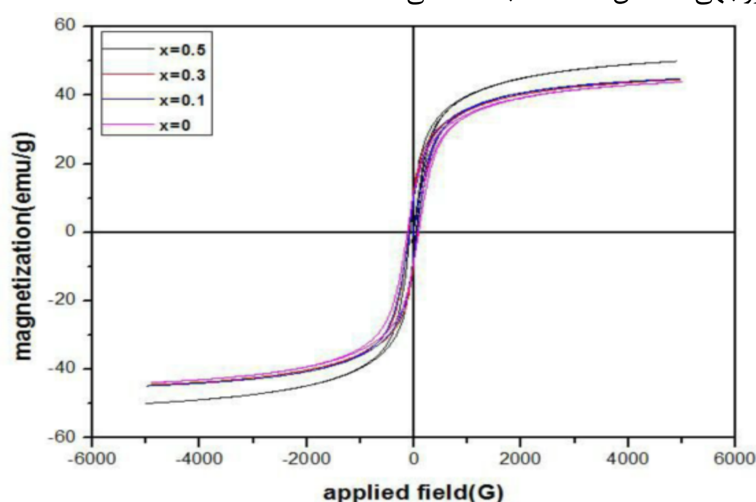


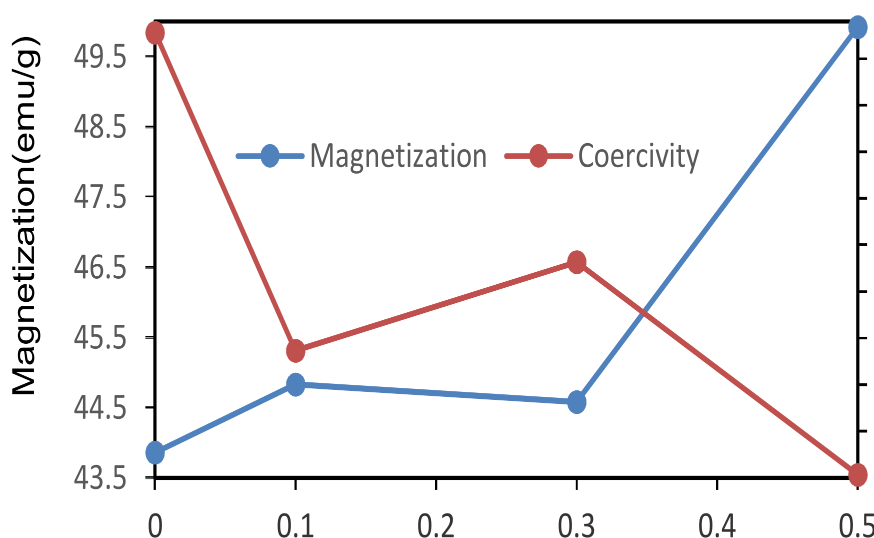
شکل ۴ طیف‌های تبدیل فوریه فروسرخ میانه نمونه‌های $Mn_{1-x}Cd_xFe_2O_4$ با مقدار جانشانی (۰/۵، ۰/۳، ۰/۱، ۰) = x

[DOI: 10.29252/ijcm.27.2.467]

بررسی ویژگی‌های مغناطیسی

شکل ۵ الف منحنی پسماند مغناطیسی نمونه‌ها و شکل ۵ ب تغییرات مغناطش اشباع(M_S) و وادارندگی(H_c) آنها را برحسب مقدار جانشانی (۰/۵، ۰/۳، ۰/۱، ۰) = x نشان می‌دهد. مقدار مغناطش اشباع از ۰ = x تا ۰/۱ = x افزایش، از ۰/۱ = x تا ۰/۳ = x کاهش و از ۰/۳ = x تا ۰/۵ = x دوباره افزایش می‌یابد. افزایش اولیه مغناطش با جانشانی کادمیم، به علت افزایش در گشتاور مغناطیسی زیرشبکه است که با نظریه فری-مغناطیس نیل همخوانی دارد. در فریت منگنز کادمیم، یون کادمیم دیامغناطیس است و گشتاور مغناطیسی آهن و منگنز تقریباً ۵ مگنتون بوهر است. وجود کاتیون‌های دیامغناطیس کادمیم در جایگاه چاروجهی ممکن است جفت‌شدگی مغناطیسی را کاهش دهد [۲۹]. جانشانی کادمیم به افزایش یون‌های آهن جایگاه هشت وجهی منجر می‌شود و در نتیجه مغناطش هشت‌وجهی افزایش می‌یابد و همزمان مغناطش چاروجهی در اثر کاهش یون‌های آهن در آن جایگاه کاهش یافته و بنابراین مغناطش کل نمونه‌ها تا ۰/۱ = x افزایش می یابد [۳۰]. در پژوهش ناصر و همکاران نیز نتیجه‌ای مشابه گزارش شده است [۱۹]. کاهش مغناطش اشباع با افزایش کادمیم از ۰/۱ = x تا ۰/۳ = x می‌تواند به علت غلبه اثر کاهشی کج شدگی اسپینی (کاهش برهمکنش ابرتبادلی) به اثر افزایشی جابجایی یون‌های آهن از جایگاه چاروجهی به جایگاه هشت‌وجهی باشد [۳۱].





شکل ۵ الف) منحنی‌های پسماند مغناطیسی و ب) تغییرات مغناطش اشباع و وادارندگی نمونه‌های $Mn_{1-x}Cd_xFe_2O_4$ با مقدار جانشانی x = (۰، ۰/۱، ۰/۳، ۰/۵)

[DOI: 10.29252/ijcm.27.2.467]

لان و همکاران نتیجه‌ی مشابهی نیز برای فریت منگنز-روی گزارش کرده‌اند [۳۲]. این رفتار با مدل یافت- کیتل که باعث بوجود آمدن زاویه یافت-کیتل می‌شود همخوانی دارد. با افزایش مقدار کادمیم از x = ۰٫۳ تا x = ۰٫۵، مقداری از یون-های کادمیم وارد جایگاه‌های هشت‌وجهی می‌شوند و مغناطش زیرشبکه چاروجهی به شدت کاهش می‌یابد، با وجود آن که کج شدگی در جایگاه مقابل وجود دارد ولی کاهش مغناطش زیرشبکه چاروجهی به دلیل تمایل بیشتر کادمیم در جایگاه چاروجهی غالب است که نتیجه‌ی آن افزایش مغناطش کل است. عواملی چون ثابت شبکه، اندازه نانوذرات و دمای پخت نیز بر مغناطش نمونه‌ها تأثیر می‌گذارند که باعث اختلاف در نتایج پژوهش‌ها می‌شوند. مسأله مهم دیگر در مورد ذرات مغناطیسی میدان وادارندگی است. موری و همکاران تغییرات وادارندگی را بر اساس اندازه ذرات بررسی کرده و مشاهده کردند که با افزایش اندازه ذرات، وادارندگی کاهش می‌یابد [۳۳]. با توجه به اندازه ذرات و مقدار وادارندگی در این پژوهش، دیده می‌شود که بیشترین وادارندگی مربوط به نانوذرات کوچکتر است که با نتایج موری همخوانی دارد.

برداشت

نانوذرات فریت منگنز کادمیم $Mn_{1-x}Cd_xFe_2O_4$ با مقادیر جانشانی (۰٫۵، ۰٫۳، ۰٫۱، ۰)=x به روش سل‌ژل تهیه شدند و ویژگی های ساختاری و مغناطیسی آنها بررسی شد. الگوی پراش پرتو ایکس نمونه‌های تهیه شده با ساختار اسپینلی همخوانی دارد و تک‌فازی آنها را تأیید می‌کند. میانگین اندازه‌ی بلورک‌ها با افزایش کادمیم از ۱۷ تا۲۲ نانومتر محاسبه شد. پیوندهای شیمیایی نمونه‌ها با استفاده از طیف‌سنجی FT-IR و Far-FTIR بررسی شد. مشخصه‌یابی مغناطیسی نمونه ها نشان داد که مقدار مغناطش اشباع با افزایش مقدار کادمیم تا x = ۰٫۱ افزایش، برای مقدار جانشانی تا x = ۰٫۳ کاهش و برای مقدار کادمیم تا x = ۰٫۵ افزایش می‌یابد. رفتار مغناطیسی نمونه‌ها در فریت‌های اسپینلی را می‌توان با توزیع کاتیونی بین جایگاه‌های چاروجهی و هشت‌وجهی و کج‌شدگی اسپینی ناشی از کاهش برهم‌کنش ابرتبادلی توجیه کرد.

مراجع

[1] Ahmed M.A., Dkasha N., EL-Dek I.S.I., *"Perparation and characterization of nano magnetic Mn ferrite via different methods",* Nanotechnology 19(2008)065603(6pp).

[2] Abdallah H.M.I., Moyo T., Somi M.J.Z., *"Mossbauer and electrical studies of Co-Mn compound perpared via glycothermal route",* J.Supercond Nov Magn(2010).

[3] Shobana M., Sankar, *"Characterization of Sol gel perpared nano ferrites*", Fundametal Magnetism and Magnetic Materials 321(2009) 599- 601.

[4] Saotome H., Tachibana K., *"Frequency characteristies of the complex permeability of ferrites",* Journal of Magnetic Society of Japan 22(1998) 289-291.

[5] Rozman M., Drofenik M., *"Sintering of nanosized Mn-Zn ferrite powders",* Journal of the American Ceramic Society 81(1998) 1757- 1764.

[6] Nasr B., Amighian J., Mozaffar M., *"The effect of temperature and atmosphere on spinel phase formation of nano-manganese ferrite",* IJPR 6 (1) (2006) 49-52 .

[7] Chen S.H., Chang S.C., Lin I.N., *"The influence of grain boundary internal stress on permeability: temperature curve for Mn-Zn ferrites",* Journal of Magn. Magn. Mater 209(2000)193-196.

[8] Pradhan S.K., Bid S., Gateshki S., Petkav S., *"Microstructure characterization and cation distribution of nanocrystalline magnesium ferrite prepared by ball milling*", Materials Chimistry and Physics 93(2005)225-230.

[9] Abbas Y.M., Mansour S.A., Ibrahim H.M., Shehab E.Ali., *"Microstructure characterization and cation distribution of nanocrystalline cobalt ferrite",* Journal of Magn and Magn Mater 323 (2011)2748-2756.

[DOI: 10.29252/ijcm.27.2.467]

[10] Bid S., Pradhan S.K., *"Characterization of crystalline structure of ball-milled nano-Ni-Zn-ferrite by Rietveld method",* Materials Chimistry and Physics84(2004)291-301.

[11] Mazen S.A., Sabrah B.A., *"Thermal effect on formation and conduction mechanism of* $MnFe_2O_4$, Acta105(1986) 1-8.

[12] Ismail S.M., Labib Sh., Attallah S.S., *"Perparation Characterization of Nano-Cadmium Ferrite",* Journal of Ceramics 6(2013)8.

[13] Nayak P.K., *"Synthesis and characterization of Cadmium ferrite*", Materials Chemistry and Physics 112(2008)24-26.

[14] Ramesh B., Ramesh S., Vijaya Kumer R., Lakshmipathi Rao.M., *"AC impedance studies on* $Li\ F_{5-X}\ Mn_xO_8$ *ferrites*", Journal of Alloys and Compounds 513(2012) 289-293.

[15] Hashim M., Alimuddin K., Kumar S., Ali S., Koo B.H., Chang H., Kumar R., *"Structural, magnetic and electrical properties of* Al^{3+} *substituted Ni-Zn ferrite nanoparticles"*, Journal of Alloys and Compounds511(2012)107-114.

[16] Khan M.A., Islam M.U., Ishaque M., Rahman I.Z., *"Magnetic and dielectric behavior of terbium substituted* $Mg_{1-x}Tb_xFe_2O_4$ *ferrites",* Journal of Alloys and Compounds512(2012)156.

[17] Rajesh Iyer., Rucha Desai., Upadhyay R.V., *"Low tempreature synthesis of nanosized* $Mn_{1-x}Cd_xFe_2O_4$ *ferrite*", Indian Journal of Pure & Applied Physics Vol47(2009)180-185.

[18] Mazen A., ABD-EL-RAIEM.A.E., *"The structure and electrical conductivity of Mn-Cd ferrite*", Journal of Materials Science 22(1987)4177-4180.

[19] Nasser Y., Mostafa Zaki Z.I., Heiba Z.K., *"Structural and magnetic propertize of Cadmium substituted mangenese ferrite prepared by Hedrothermal route*", J. Magn. Magn. Mater 329(2013) 71-76.

[20] XiG. Yang.L., Lu.M., *"Study on preparation of nanocrystalline ferrites using spent Alkaline Zn-Mn battries*", Materials Letters 60(2006) 3582-3585.

[21] Akbarii F., Niyaifar M., Hanatehzadeh M., *"Study of the structural and magnetic properties of* $Ni_{0.65}Zn_{0.35}Cu_xFe_{2-x}O_4$ *ferrite nanoparticle",* Iranian Journal of Crystallography and Mineralogy 23(2)(2015) 277-284.

[22] Deraz N.M., Alarifi A., *"Controlled synthesis, physicochemical and magnetic properties of nano-crystalline Mn ferrite system",* Int.J.Electrochem.Sci 7 (2012) 5534-5543.

[23] Hasting J.M., Corliss L.M., *"An Antiferromagnetic Transition in Zinc Ferrite",* Phys.Rev 102(1956) 1460.

[24] Chhantbar M.C., Trived U.N., Tanna P.V., Shah H.J., Vara R.P., Joshi H.H., Modi K.B., *"Infrared spectra studies of Zn- substituted* $CuFeCrO_4$ *spinel ferrite system*", Indian.J.Phys 78A(2004) 321-326.

[25] Raghavender A.T., Biliskiv N., Skoko Z., *"XRD and IR analysis of nano crystalline Ni-Zn ferrite synthesized by Sol-gel method*", Mater.Lett 65(2011) 677-680.

[26] Zaki H.M., Dawoud H.A., *"Far-Infrared spectra for Copper – Zink mixed ferrites",* Physica.B 405(2010) 4476- 4479.

[27] Levine B.F., *"d-Electron effects on bound suscepibilities and ionicities*", Phys.Rev.B 7(1973) 2591- 2599.

[28] Bhandarea M.R., Jamadarab H.V., Pathanb A.T., Chouguleb B.K., Shaikhc A.M., *"Dielectric properties of Cu substituted* $Ni_{0.5-x}Zn_{0.3}Mg_{0.2}Fe_2O_4$ *ferrites*˝, Journal of Alloys and Compounds 509(2011)113-118.

[29] Nath B.K., Chakrabarti P.K., Das S., Kumer U., Mukhopadhyay and Das.D., *"Mossbauer studies on nanoparticles of Zink substituted magnetism ferrite*", J.Surface.Sci.Technol 21(2005) 169-182.

[30] Mohamedda K.A., Rawas A.D.AL., Gismelseed A.M.B., Sellai B.A., Widatallah H.M., Yousif B.A., Elzain B.M.E., Shonqwe M., *"Infrared and structural studies of Mg-Zn ferrite",* Physica .B 407(2012) 795- 804.

[31] Niyaifar M., Nazarii S., Hasanpour A., *"Effect of Zn substitution on varation microscopic*

[DOI: 10.29252/ijcm.27.2.467]

structural and magnetic properties of MgZn ferrite", Iranian Journal of Crystallography and Mineralogy 23(3)(2015) 507-516.

[32] Lan N.T., Hien T.D., Duong N.P., Truong D.V., *"Magnetic properties of $Mn_{1-x}Zn_xFe_2O_4$ ferrite nanoparticles prepared by using Co-Precipitation",* Journal of Korean Physical Society 52(5)(2008) 1522-1525.

[33] Muroi K., Amighian J., Street R., Mccormiks P., *"Magnetic properties of ultrafine $MnFe_2O_4$ powders prepared by mechanochemical processing",* Phys.Rev.B63(2001)184-414.